



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Sprækket kridt

gennemstrømningsforsøg

Thorsen, Grete

Published in:

NGM-92 : Proceedings fra 11. Nordiske Geoteknikermøde, Aalborg, 28-30 maj 1992

Publication date:

1992

Document Version

Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Thorsen, G. (1992). Sprækket kridt: gennemstrømningsforsøg. I *NGM-92 : Proceedings fra 11. Nordiske Geoteknikermøde, Aalborg, 28-30 maj 1992: Artikler til NGM-92: Session 1-4* (Bind 1/3, s. 131-136). Dansk Geoteknisk Forening. DGF-bulletin Nr. 9

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

MBJ.

NGM-92

11. NORDISKE GEOTEKNIKERMØDE

AALBORG, 28-30 MAJ 1992

Vol 1 / 3

Artikler til NGM-92: Session 1-4

Maj 1992
dgf-Bulletin

9



DANISH GEOTECHNICAL SOCIETY
DANSK GEOTEKNISK FORENING

NGM-92

11. NORDISKE GEOTEKNIKERMØDE
AALBORG, 28-30 MAJ 1992

Vol 1 / 3

Artikler til NGM-92: Session 1-4

Maj 1992
dgf-Bulletin

9



**DANISH GEOTECHNICAL SOCIETY
DANSK GEOTEKNISK FORENING**

Sprækket kridt. Gennemstrømningsforsøg

Af

Grete Thorsen, Aalborg Universitetscenter

RESUME

Denne artikel beskriver resultaterne af gennemstrømningsforsøg udført på blokke af skrivekridt. Forsøgsblokkene var på henholdsvis $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$ og $75 \times 75 \times 75 \text{ cm}^3$ og indeholdt materialets naturlige sprækkesystemer. Formålet med forsøgsserien var at belyse gennemstrømningsegenskaber i sprækket materiale. De udførte forsøg synes at vise, at for små spændingsniveauer er ændringer i vandtransportevne i højere grad afhængige af tiden end af de effektive spændinger og gennemstrømningstrykket.

BAGGRUND

I Nordsøen er kalk- og kridtbjergarter ("chalkgroup") reservoirbjergarter for olie- og gasforekomster. Kalk- og kridtaflejringerne indeholder inhomogeniteter og er gennemsat af sprækkesystemer.

Til bestemmelse af gennemstrømningsegenskaberne af kalk- og kridtbjergarter udføres normalt laboratorieforsøg med små prøver optaget i borer. Disse forsøgsresultater giver oplysninger om gennemstrømningsegenskaberne af det homogene usprækkede grundmateriale.

Formålet med forsøgsprogrammet omtalt i denne artikel har været at måle gennemstrømningsegenskaberne på blokke af en sådan størrelse, at de indeholder inhomogeniteter og sprækkesystemer.

DET UNDERSØGTE MATERIALE

Det undersøgte materiale er skrivekridt fra senonperioden. Prøverne er udtaget i Rørdal kridtgrav ved Aalborg, hvor aflejring af skrivekridt kommer frem i dagen.

Skrivekridt er en meget finkornet bjergart, der næsten udelukkende består af kalk. Aflejringerne er hærdnede og gennemsat af sprækkesystemer. Skrivekridtaflejringerne ved Rørdal er i struktur og sammensætning meget lig de kalkbjergarter, som i Nordsøen danner reservoirbjergarter for olie- og gasforekomster.

Med små prøver af skrivekridt fra Rørdal kridtgrav er bestemt følgende værdier for grundmaterialets klassifikationsegenskaber:

Vandindhold	$w = 28 - 30\%$	Kornvægtfylde	$d_s = 2.71$
Rumvægt	$\gamma = 19.7 - 18.8 \text{ kN/m}^3$	Kalkindhold	$k_a = 97.0 - 99.5\%$
Poretal	$e = 0.76 - 0.95$	Mætningsgrad	$S_w = 1$
Porøsitet	$n = 0.43 - 0.49$		

Grundmaterialets gennemstrømningsegenskaber er undersøgt ved forsøg med små prøver.

Ud fra konsolideringsforsøg er fundet en hydraulisk konduktivitet $K_A = k g / \nu = 10^{-10}$ á 10^{-12} m/sec , svarende til en permeabilitet $k = 10^{-5}$ á 10^{-7} darcy. $\nu = \text{viskositeten} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$ for vand ved 20°C . $g = \text{tyngdeaccelerationen} = 9.81 \text{ m/sec}^2$.

I triaxialapparatet er udført et gennemstrømningsforsøg med et kammertryk på 400 kPa og et gennemstrømningstryk på 25 - 30 kPa. Dette forsøg viste en hydraulisk konduktivitet på $K_A = 2 \cdot 10^{-11} \text{ m/sec}$, svarende til en permeabilitet på $k = 2 \cdot 10^{-6}$ darcy.

UDSKÆRING OG TRANSPORT AF BLOKPRØVER

Forsøgsblokkene af skrivekridt er udsavet med løvsav under samtidig spuling med vand. Både af hensyn til fordampning fra blokoeverfladen og på grund af de fine sprækkesystemer, som ville åbne sig ved trykaflastning, har det været nødvendigt at emballere blokprøverne i specielle transportkasser.

Transportkasserne er trækasser foret med gummimåtter. Så snart en prøveside var udsåret påsattes en side af transportkassen. Ved sammenspænding af transportkassens sider blev opnået, at disse sluttede tæt til blokprøven.

De fem af blokprøvens sider blev udsavet og emballeret før blokken blev frigjort fra aflejningsstedet. Blokkene blev udsavet lige over arealets naturlige vandspejl, og de kan derfor på grund af materialets kapillaritet påregnes vandmættede i frigørelsesøjeblikket.

Efter ankomsten til laboratoriet er blokprøverne anbragt i specielle laboratoriekasser ved én efter én at udskifte transportkassernes sider med en side i laboratoriekassen.

MÅLEUDSTYR I LABORATORIET

Laboratoriekasserne til måling af blokprøvernes gennemstrømningsegenskaber var opbygget efter følgende princip:

Enhver af siderne i kassen kunne udskiftes med en vilkårlig af de øvrige sider.

Enhver af kassens sider havde på indersiden en påsmurt gummipude (Latex), hvori der ved luft (eller vand) kunne etableres et tryk på blokprøven. På to af blokprøvernes sider var mellem prøven og gummipuden indskudt et permeabelt lag, fiberdug, hvor igennem der var en drænmulighed.

Det alsidige tryk på blokprøverne blev etableret ved lufttryk i gummipuderne. Af praktiske årsager var der dog vand i bundpuden.

Under konsolideringsprocessen blev etableret et alsidigt tryk i gummipuderne, mens dræning blev tilladt fra filtrene (fiberdugene).

Ved gennemstrømning blev etableret et vist tryk i den ene filterside, og dræning blev tilladt fra den anden filterside. Den gennemstrømmende vandmængde blev målt i specielt

konstruerede volumenmålere. Under alle forsøg blev alsidigt tryk, gennemstrømningstryk og gennemstrømmende vandmængder registreret.

BLOKPRØVER. GENNEMSTRØMNINGSFORSØG

Materiale

Der er udført gennemstrømningsforsøg med 5 blokprøver. 3 prøver på $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$ og 2 prøver på $75 \times 75 \times 75 \text{ cm}^3$. Umiddelbart efter ankomsten til laboratoriet blev blokprøverne opmålt og vejede. Prøvernes rumvægte blev bestemt til $\gamma = 18.8 - 19.8 \text{ kN/m}^3$, hvilket svarer til de rumvægte, der blev bestemt for de vandmættede små prøver.

Formål

Formålet med de udførte forsøg var

- at belyse gennemstrømningsegenskaberne variation med de effektive spændinger,
- at belyse sprækkernes indflydelse på gennemstrømningsegenskaberne,
- at belyse gennemstrømningsegenskaberne variation i forskellige retninger.

Forsøgsprocedure

Med den aktuelle forsøgsopstilling kunne etammertryk på op til 140 kPa og gennemstrømningstryk på op til 50 kPa, svarende til en trykniveauforskel på $\Delta h = 5 \text{ m}$.

Blokprøverne blev påført etammertryk. Når konsolideringsprocessen for detteammertryk var overstået, dvs. de udpressede vandmængder var minimale, udførtes gennemstrømningsforsøg med forskellige gennemstrømningstryk op til tryk på ca. 0.7 gange det påførteammertryk eller til det maksimalt mulige gennemstrømningstryk på 50 kPa.

Når en forsøgsserie med gennemstrømningsforsøg ved forskelligeammertryk var udført ved gennemstrømning mellem to modstående sider, blev filtersiderne i laboratoriekassen udskiftet med to andre modstående sider og en ny forsøgsserie startet.

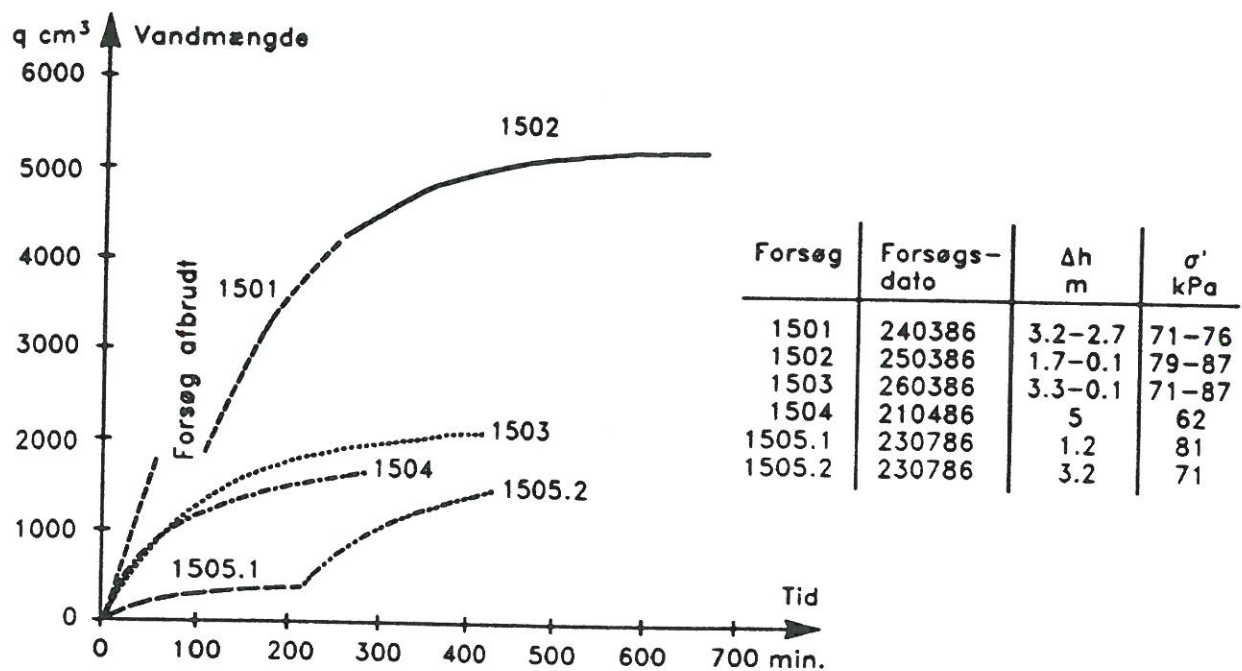
Gennemstrømningsegenskaberne variation med de effektive spændinger

Efter udførelsen af en række forsøg måtte det konstateres, at forsøgene ikke umiddelbart var reproducerbare. Gennemstrømningsforsøg udført på samme prøve med samme effektive spændinger, σ' , og samme gennemstrømningstryk, trykniveauforskel Δh , viste forskellige gennemstrømningsvandmængder, q , afhængig af udførelsestidspunktet.

På figur 1 er vist den gennemstrømmede vandmængdes variation med tiden for 5 gennemstrømningsforsøg med en af de store blokprøver. Sammenholdes resultaterne med de aktuelle trykniveauforskelle og effektive spændinger ses, at gennemstrømningsegenskaberne variation med trykniveauforskel og effektive spændinger er langt mindre end variationen med tiden.

Sprækkernes indflydelse på gennemstrømningen

Permeabiliteten af et sprækket materiale kan udtrykkes som en sum af sprækkernes permeabilitet og grundmaterialets permeabilitet.



Figur 1: Resultat af 5 gennemstrømningsforsøg med en stor blokprøve. Δh = trykniveauforskelle mellem filtersiderne. σ' = effektiv spænding i prøvemidte.

Betragtes en strømning i en glat sprække af størrelsen e , vil vandet bevæge sig med en middelhastighed

$$v = k \cdot \frac{g}{\nu} \cdot i = \frac{e^2}{12} \cdot \frac{g}{\nu} \cdot i$$

$k = \frac{e^2}{12}$ = permeabiliteten i sprækken (Bandis et al - NGI no. 164)

g = tyngdeaccelerationen

ν = viskositeten

i = gradienten

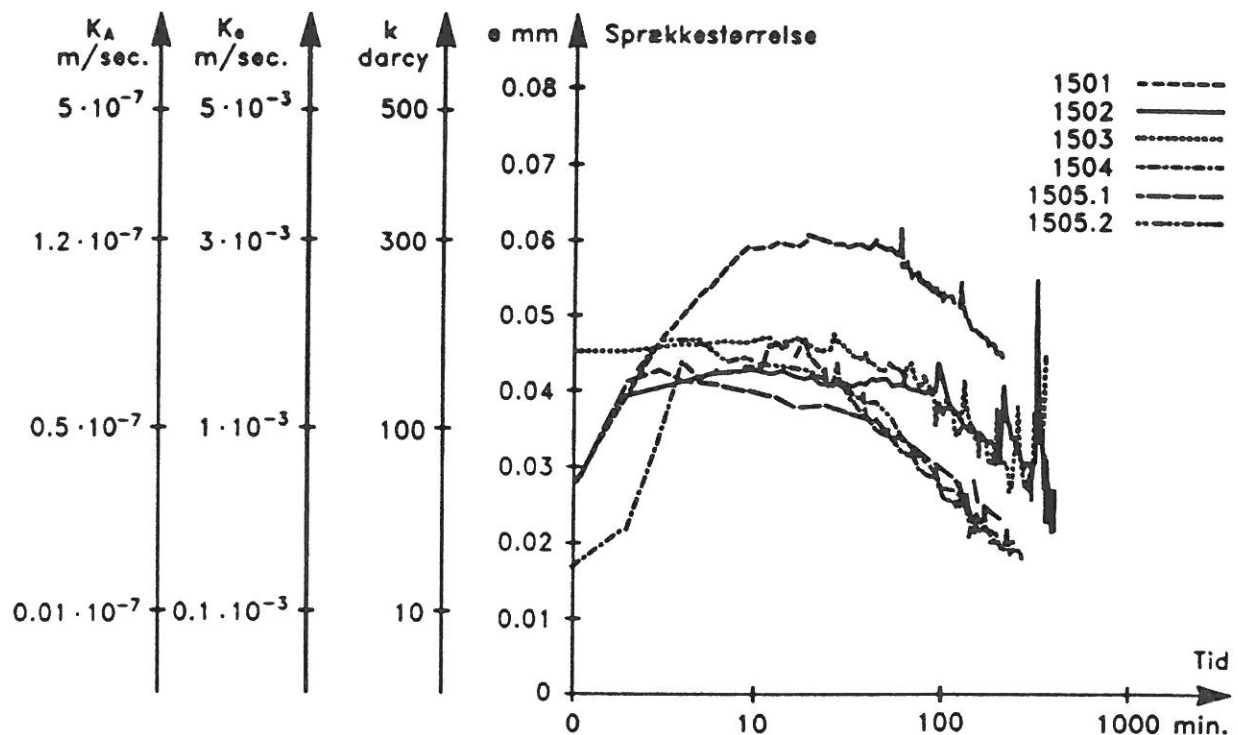
Såfremt alt gennemstrømmende vand i en cubisk prøve med sidelinen l transporteres i én glat vandret sprække fås følgende:

$$\frac{Q}{e \cdot l} = \frac{e^2}{12} \cdot \frac{g}{\nu} \cdot \frac{\Delta h}{l} \quad \text{eller} \quad Q = \frac{e^3}{12} \cdot \frac{g}{\nu} \cdot \Delta h$$

hvor Q = vandmængden pr. tidsenhed. Δh = trykniveauforskellen mellem blokprøvens to filtersider.

Vandmængden er altså uafhængig af prøvestørrelsen. Sprækkestørrelsen kan beregnes ud fra følgende:

$$e = \sqrt[3]{\frac{Q}{\Delta h} \cdot 12 \cdot \frac{\nu}{g}}$$



Figur 2: Tidskurver for beregnet sprækkestørrelse e mm, for de på figur 1 viste gennemstrømningsforsøg.

Den hydrauliske konduktivitet i sprækken er

$$K_e = k \cdot \frac{g}{\nu} = \frac{e^2}{12} \cdot \frac{g}{\nu}$$

Den hydrauliske konduktivitet beregnet over blokprøvens areal er

$$K_A = \frac{e}{l} \cdot K_e = \frac{e^3}{12 \cdot l} \cdot \frac{g}{\nu} = \frac{Q}{l \cdot \Delta h}$$

Beregning af variationen af sprækkestørrelsen under gennemstrømningsforsøg viser en sprækkeudvidelse ved reduktion i de effektive spændinger, men sprækkestørrelsen formindskes igen med tiden. Sprækkeformindskelsen viser sig at variere retlinet med tiden i enkeltlogaritmisk afbildning.

På figur 2 er beregnede sprækkestørrelsesvariation med tiden optegnet i enkeltlogaritmisk afbildning for de på figur 1 viste forsøg.

Tidskurven for sprækkestørrelsesvariation under et gennemstrømningsforsøg har samme form som krybningskurven fra et konsolideringsforsøg, og et lignende udtryk som opstillet for krybningsdeformationer (Moust Jacobsen (1991)) synes at gælde for sprækkevariationer under et gennemstrømningsforsøg.

$$e = e_A - \Delta e = e_A - e_A \epsilon_s \log \left(1 + \frac{t}{t_A} \right) = e_A \left(1 - \epsilon_s \log \left(1 + \frac{t}{t_A} \right) \right)$$

hvor

t = den tid, der er forløbet siden gennemstrømningsforsøgets start.

t_A = en tid, der afhænger af aflastningsspændingen og af den tid, der er forløbet, siden prøven blev underkastet det aktuelle kammertryk.

e = den aktuelle sprækkestørrelse.

e_A = en teoretisk sprækkestørrelse, der afhænger af aflastningsniveau og størrelsen af t_A .

Δe = sprækkeformindskelse med tiden.

ϵ_s = dekadehældning for sprækkestørrelsens tøjningsvariation med tiden.

Produktet $e_A \cdot \epsilon_s$ er således et udtryk for dekadehældningen for sprækkestørrelsens variation med tiden.

Gennemstrømningsegenskaberne variation i forskellige retninger

Med blokprøverne er udført gennemstrømningsforsøg i tre forskellige retninger.

De beregnede største sprækkestørrelser er fundet at variere fra $e = 0.04$ mm til $e = 0.09$ mm. Den største variation mellem de tre retninger indenfor en enkelt prøve er 0.03 mm, og altså mindre end den variation i sprækkestørrelse, der er konstateret med tiden.

KONKLUSION

For de lave spændingsniveauer, der har været aktuelle under dette forsøgsprogram, må det konkluderes, at gennemstrømningsevnen er mere afhængig af tidspunktet for forsøgets udførelse end af variationen i de effektive spændinger i prøvemidte og gennemstrømningstrykket.

Tidskurven for sprækkevariationen under et gennemstrømningsforsøg har samme form som krybningskurven ved en konsolideringsproces.

Det må derfor være rimeligt at antage, at sprækkevariationer under gennemstrømningsforsøg kan beregnes efter tilsvarende principper som krybningssætninger (jfr. Moust Jacobsen (1991)).

Forsøgene behandlet i denne artikel er udført med prøver af en sådan størrelse, at de indeholder materialets naturlige sprækkesystemer. Sammenlignet med forholdene i naturen må de dog betragtes som små elementer udskåret fra et hele. Dette betyder naturligvis, at de resultater, der er opnået i laboratoriet ikke nødvendigvis direkte kan overføres til forholdene i naturen.

REFERENCER

- Bandis, S.C., A. Makurat & G. Vik (1986): Predicted and Measured Hydraulic Conductivity of Rock Joints. *NGI Publikasjon* nr. 164. Oslo.
- Moust Jacobsen, H. (1991): Forskningsprojekt vedrørende lettere forbelastet lers geotekniske egenskaber. *AUC Intern rapport*.
- van Golf-Racht, T.D. (1982): Fundamentals of fractured reservoir engineering. Developments in Petroleum Science, 12 *Elsevier S.P.C.*